

## Static micro mixer for producing emulsions and gas-liquid dispersions has a housing with fluid inlets, a fluid outlet and plates stacked in the housing

**Patent number:** DE19927556  
**Publication date:** 2000-12-28  
**Inventor:** EHRFELD WOLFGANG (DE); MICHEL FRANK (DE);  
HESSEL VOLKER (DE)  
**Applicant:** INST MIKROTECHNIK MAINZ GMBH (DE)  
**Classification:**  
- **International:** B01F5/06  
- **European:** B01F5/06B2B; B01F13/00M; B01J19/00R  
**Application number:** DE19991027556 19990616  
**Priority number(s):** DE19991027556 19990616

[Report a data error here](#)

### Abstract of DE19927556

Static micro mixer has a housing (10) with fluid inlets (12a, 12b), a fluid outlet (13) and plates (20, 21, 22) stacked in the housing. The plates have recesses in the millimeter to sub-millimeter range which form a main channel for removing the product and sub-channels for introducing each individual educts extending through the stack. An Independent claim is also included for a process for the mixing two or more educts using the above mixer. Preferred Features: The main channel is arranged central along the axis of the stack and the sub-channels are arranged outside around the main channel.

BEST AVAILABLE COPY

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Patentschrift  
10 DE 199 27 556 C 2

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
B 01 F 5/06  
B 01 F 5/02  
B 81 B 1/00

21 Aktenzeichen: 199 27 556.4-23  
22 Anmeldetag: 16. 6. 1999  
43 Offenlegungstag: 28. 12. 2000  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 8. 5. 2003

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH, 55129 Mainz, DE

74 Vertreter:

Fuchs, Mehler, Weiß & Fritzsche, 65201 Wiesbaden

72 Erfinder:

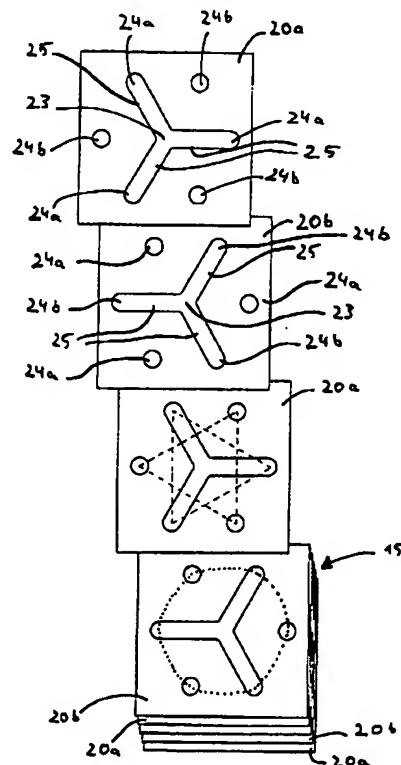
Ehrfeld, Wolfgang, Prof. Dr., 55124 Mainz, DE;  
Michel, Frank, Dr., 55268 Nieder-Olm, DE; Hessel,  
Volker, Dr., 65510 Hünstetten, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 197 03 779 A1  
DE 24 38 044 A1  
US 45 14 095  
US 38 56 270  
EP 04 95 169 B1  
EP 08 70 541 A2

54 Statischer Mikromischer und Verfahren zum statischen Mischen zweier oder mehrerer Edukte

57 Statischer Mikromischer für  $n$  ( $n \geq 2$ ) Edukte, der ein Gehäuse (10) mit mindestens  $n$  Fluidzuführungen (12a, b) und einer Fluidabführung (13) sowie  $n$  oder mehr im Gehäuse (10) zu einem Stapel (15) angeordnete Platten (20, 21, 22) aufweist, wobei die Platten (20, 21, 22) Ausnehmungen (24, 25) im Millimeter- bis Submillimeterbereich aufweisen, die zusammen einen Hauptkanal (23) zum Abführen des Produktes und mindestens  $n$  Nebenkanäle (24) zum Zuführen jedes einzelnen Edukts bilden, die sich in Stapelrichtung durch den gesamten Stapel (15) erstrecken, und wobei in mindestens  $n$  der Platten (20a-d) zur Bildung von Mischplatten (20a-d) für je ein Edukt eine oder mehrere längliche Ausnehmungen (25) im Millimeter- bis Submillimeterbereich vorhanden sind, die sich jeweils von dem Hauptkanal (23) zu dem oder den Nebenkanälen (24) dieses Edukts erstrecken.



DE 199 27 556 C 2

DE 199 27 556 C 2

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen statischen Mikromischer für zwei oder mehr Edukte gemäß Patentanspruch 1 sowie ein Verfahren zum statischen Mischen zweier oder mehrerer Edukte gemäß Patentanspruch 12.

[0002] Mikromischer bilden eine Hauptkomponente sogenannter Mikroreaktoren, die über dreidimensionale Mikrostrukturen verfügen, in denen chemische Umsetzungen durchgeführt werden. Wachsende Bedeutung erlangen die Mikroreaktoren beispielsweise in der kombinatorischen Chemie für die Erzeugung von Emulsionen und Gasflüssigdispersionen und in der Gasphasenkatalyse.

[0003] Bei statischen Mischern wird dabei das Mischen durch Aufteilen des Fluides in Teilströme und Wiedervermischen der Teilströme bewerkstelligt. Bei dynamischen Mischern hingegen geschieht das Mischen beispielsweise mittels Rührer hauptsächlich über Konvektion. Häufig weisen statische Mikromischer sehr komplexe Mikrostrukturen auf, die leicht beschädigt werden können und sich schlecht reinigen lassen.

[0004] Ein statischer Mischer, der einfach und kostengünstig herzustellen ist und sich leicht reinigen läßt, wird in der US-PS 4,514,095 vorgestellt. Der dortige Mischer weist einen röhrenförmigen Behälter mit einer Zu- und einer Ableitungsöffnung in seiner Deckel- bzw. Bodenplatte auf. In diesem röhrenförmigen Behälter sind kreisförmige Mischplatten mit Durchlaßöffnungen übereinandergestapelt. Ein eingeleiteter Eduktstrom, der aus einer beliebigen Anzahl verschiedener Edukte bestehen kann, wird durch eine erste Mischplatte in einen zentralen und mehrere periphere Ströme aufgespalten. In den nächsten Mischplatten werden die vorher gebildeten Peripherströme ohne Veränderung durchgeleitet, während der zentrale Eduktstrom über sternförmig verlaufende Kanäle, die in Richtung Plattenrand verlaufen, und über periphere Durchgangsöffnungen in weitere Peripherströme aufgespalten wird. Die Gesamtheit der Peripherströme wird anschließend wieder zu einem zentralen Strom vereint. Dieser Mischprozeß wird in mehreren Mischzonen nach dem oben beschriebenen Stromverlauf fortgesetzt.

[0005] Dieser Mischer hat allerdings einen gravierenden Nachteil: Um einen möglichst homogenen Mischungsgrad zu erreichen, müssen sehr viele Mischzonen hintereinander geschaltet werden. Außerdem hängt der erreichbare Mischungsgrad davon ab, wie gut die Edukte vor der Zuführung schon vorgemischt wurden. Besonders problematisch ist die Situation, wenn zwischen den Edukten unterschiedliche Reaktionen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten nebeneinander ablaufen, vor allem wenn die Diffusionsgeschwindigkeit kleiner als ein oder als mehrere der Reaktionsgeschwindigkeiten ist. Dies kann zu einer Verminderung der Selektivität und damit der Ausbeute führen.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Mikromischer bereitzustellen bzw. ein Verfahren durchzuführen, die es erlauben, Edukte in kürzester Zeit möglichst homogen zu mischen, und die es erlauben, auch Reaktionen, deren Reaktionsgeschwindigkeit hoch gegenüber der Diffusionsgeschwindigkeit ist, gezielt ablaufen zu lassen.

[0007] Gelöst wird diese Aufgabe gemäß Patentanspruch 1 durch einen statischen Mikromischer für  $n$  ( $n \geq 2$ ) Edukte, der ein Gehäuse mit  $n$  Fluidzuführungen und einer Fluidabführung sowie  $n$  oder mehr in Gehäuse zu einem Stapel angeordnete Platten aufweist, wobei die Platten Ausnehmungen im Millimeter- bis Submillimeterbereich aufweisen, die zusammen einen Hauptkanal zum Abführen des Produktes und mindestens  $n$  Nebenkanäle zum Zuführen jedes einzelnen Edukts bilden, die sich in Stapelrichtung

durch den gesamten Stapel erstrecken, und wobei in mindestens  $n$  der Platten zur Bildung von Mischplatten für ein Edukt eine oder mehrere längliche Ausnehmungen im Millimeter- bis Submillimeterbereich vorhanden sind, die sich jeweils von dem Hauptkanal zu dem oder den Nebenkanälen dieses Edukts erstrecken.

[0008] Die Aufgabe wird außerdem gemäß Patentanspruch 12 durch ein Verfahren zum statischen Mischen zweier oder mehrerer Edukte gelöst, das dadurch gekennzeichnet ist, daß aus jedem Edukt mindestens ein Hauptstrom gebildet wird, aus dem mindestens ein Teilstrom abgezweigt wird, und die Teilströme aller Edukte in einem Produktstrom vereinigt werden, wobei die einzelnen Eduktteilströme der Reihe nach abwechselnd in der Form dem Produktstrom zugeführt werden, daß Fluidlamellen in Strömungsrichtung übereinander geschichtet werden, wobei diese ineinander diffundieren.

[0009] Dieses Verfahren läßt sich mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung folgendermaßen durchführen:

Jedes Edukt wird dem Mikromischer zugeführt und auf mindestens einen Nebenkanal verteilt. In den Nebenkanälen fließen die Edukthauptströme. An der Stelle eines Nebenkanals, an dem eine Mischplatte eine längliche Ausnehmung aufweist, die sich von genau diesem Nebenkanal zum Hauptkanal erstreckt, wird mindestens ein Teilstrom dieses Eduktes aus dem Hauptstrom abgezweigt und zum Hauptkanal geführt. In dem Hauptkanal fließt der Produktstrom.

[0010] Die Fluidschichtdicke oder auch Tröpfchengröße, bei Emulsionen oder Dispersionen, der dem Produktstrom zugeführten Edukte wird hauptsächlich durch die Dicke der Mischplatten bestimmt. Die Lateralabmessungen der Ausnehmungen sind hierfür ohne Belang und vergleichsweise groß. Eine besonders gute und schnelle homogene Vermischung erreicht man nämlich dadurch, daß der Druckabfall der Hauptströme ungefähr gleich dem Druckabfall des Produktstromes ist und dieser klein gegenüber dem Druckabfall der Teilströme ist. Durch diese Maßnahmen und durch das der Reihe nach abwechselnde Zuführen der Eduktteilströme werden im Hauptkanal Fluidlamellen geringer Dicke in Strömungsrichtung übereinandergeschichtet, die wegen der geringen Lamellendicken auch bei niedrigeren Diffusionsgeschwindigkeiten sehr schnell ineinanderdiffundieren können. Typische Lamellendicken und damit auch Mischplattendicken liegen zwischen 1 bis 300  $\mu\text{m}$ , vorteilhaft zwischen 5 und 70  $\mu\text{m}$ .

[0011] Der Homogenisierungs- und Mischeffekt des Mixers läßt sich durch Verringern der Mischplattendicke noch steigern. Vorteilhaft wird über die Mischplattendicke die Schichtdicke der Teilströme derart eingestellt, daß die Mischung überwiegend durch Diffusion und in geringerem Maße durch Konvektion stattfindet.

[0012] Prinzipiell reicht es, für jedes Edukt eine Mischplatte zu haben, aber der Durchsatz bei konstantem Druckverlust wird sehr viel größer, wenn man bis zu mehreren hundert dieser Platten übereinander stapelt. Wegen der geringen Mischplattendicke wird der gesamte Stapel dennoch nur wenige Millimeter hoch. Durch das Verhältnis der Lateralabmessungen der Ausnehmungen zur Dicke der Mischplatten wird außerdem gewährleistet, daß der erfindungsgemäße Mikromischer einen hohen Durchsatz (beispielsweise ca. 5 l/h) bei gleichzeitig geringem Druckabfall (beispielsweise maximal 200 hPa für wäßrige Medien) erlaubt.

[0013] Die Strukturen in den Platten lassen sich kostengünstig durch Stanzen, Stanzprägen, Spritzgießen, Ätzen oder Ausschneiden mittels eines Lasers oder auch durch Drahtcodieren im Stapel fertigen.

[0014] Um den Durchsatz noch weiter zu erhöhen, kann auch eine größere Anzahl von erfindungsgemäßen Mikromi-

schern parallel geschaltet werden. Durch den sehr hohen Durchsatz erschließen sich dem erfindungsgemäßen Mikromischer zahlreiche Anwendungen in Produktionsprozessen der chemischen Industrie.

[0015] Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, den Hauptkanal zentral längs der Stapelachse anzuordnen. Die Nebenchäle sind dabei außen um den Hauptkanal herum angeordnet. Existieren zu einem Edukt mehrere Nebenchäle in einer Mischplatte, so werden diese am besten äquidistant zur Hauptleitung angeordnet, um in allen Teilströmen des Edukts einen gleichen Druckabfall zu gewährleisten. Die länglichen Ausnehmungen, in denen die Teilströme fließen, erstrecken sich radial vom Hauptkanal zum jeweiligen Nebenchal.

[0016] Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, wenn die Anordnung der Ausnehmungen in den einzelnen Mischplatten dreh-symmetrisch zur Stapelachse ist. Dies wirkt sich nicht nur positiv auf den Druckabfall aus, sondern vereinfacht auch die Herstellung der einzelnen Platten. Denn es können nun baugleiche Einzelplatten verwendet werden, die gegeneinander verdreht die einzelnen Einzelplatten mit unterschiedlichen Edukten versorgen.

[0017] In einer bevorzugten Ausführungsform sind eine oder mehrere die Stirnseiten des Stapels bildenden Platten als Verteilerplatten ausgebildet. Diese eine oder mehreren Verteilerplatten weisen je nach Anzahl der Nebenchäle für das jeweilige Edukt eine oder mehrere Ausnehmungen auf, die sich von der Fluidzuführung dieses Edukts zu den oder dem Nebenchälen dieses Edukts erstrecken. Je nach Anzahl der Edukte und Anzahl der Verteilerplatten bzw. je nachdem, ob an der bestimmten Stirnseite des Stapels auch die Fluidabführung für den Produktstrom angeordnet ist, die mit dem Hauptkanal in Verbindung steht, weist eine Verteilerplatte auch weitere Ausnehmungen zur Bildung der Nebenchäle der übrigen Edukte und/oder des Hauptkanals auf. Die Verteilerplatten tragen dazu bei, die Edukte gleichmäßig und mit möglichst geringem Druckverlust von den Fluidzuführungen auf die Nebenchäle zu verteilen sowie das Mischprodukt zur Vermeidung von Folgereaktionen möglichst schnell und frei von Totvolumen abzuführen.

[0018] Eine möglichst gleichmäßige Eduktverteilung kann erreicht werden, wenn die fluidischen Widerstände in den Ausnehmungen der Verteilerplatten klein gegenüber den fluidischen Widerständen in den länglichen Ausnehmungen der Mischplatten sind. Dies wird vorzugsweise dadurch erreicht, daß die Plattendicke der Verteilerplatten groß gegenüber der Plattendicke der Mischplatten ist.

[0019] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist zwischen mindestens zwei Mischplatten eine Zwischenplatte angeordnet, die für jeden Nebenchal und den Hauptkanal genau eine Ausnehmung aufweist. Bevorzugterweise befindet sich zwischen allen Mischplatten eine solche Zwischenplatte. Durch das Einfügen der Zwischenplatte durchläuft der Produktstrom einen kurzen Abschnitt des Hauptkanals, in dem die sich schon im Produktstrom befindlichen Edukte vermischen können, bevor das nächste Edukt zugeführt wird.

[0020] Vorzugsweise weist in der Zwischenplatte die Ausnehmung für den Hauptkanal eine geringere Querschnittsfläche auf als die entsprechende Ausnehmung in der in Strömungsrichtung davor angeordneten Mischplatte. Dadurch wird erreicht, daß das Edukt gleichmäßig über den Umfang des Hauptkanals verteilt ist. Da die in Strömungsrichtung folgenden Mischplatten die Edukte in der Plattenebene um einen Winkel versetzt zuführen, besteht die Gefahr, daß sich die Edukte in axialen Streifen (wie bei Zahnpasta) aneinanderlagern. Durch das Einfügen einer Zwischenplatte mit engerer Hauptkanalausnehmung wird gewährleistet, daß erst

die Teilströme zusammenfließen und sich dann das Edukt von allen Seiten gleichmäßig auf die kleinere Ausnehmung in der Zwischenplatte zu bewegt und dabei eine über den Umfang der Ausnehmung gleichmäßige Strömung entwickelt.

[0021] Am günstigsten für die Druck- und Strömungsverhältnisse ist es, wenn die Plattendicke der Zwischenplatten den Plattendicken der Mischplatten entsprechen. Außerdem wird dadurch vermieden, daß die Abmessungen des Mikromischers zu groß werden.

[0022] Durch gedankliches Verschmelzen von Misch- und Zwischenplatte entsteht eine Kombiplatte, die Durchbrüche für Haupt- und Nebenchäle, aber nicht durchgehende längliche Ausnehmungen (Senkungen) zwischen dem Hauptkanaldurchbruch und den Nebenchaldurchbrüchen aufweist. Hierfür besonders geeignete Herstellungsverfahren sind das Stanzen oder das Spritzgießen.

[0023] In einer besonderen Ausgestaltung einer Kombiplatte zweigen vom Nebenchaldurchbruch zwei oder mehr längliche Ausnehmungen ab, so daß aus dem Hauptstrom des Edukts zwei oder mehr Teilströme abgezweigt und dem Hauptkanal zugeführt werden. Es ist auch denkbar, daß die den Nebenchaldurchbruch mit dem Hauptkanaldurchbruch verbindende Ausnehmung in der Art der Bifurkationskaskade ausgebildet ist. Hierbei wird ein Teilstrom vom Hauptstrom des Edukts abgezweigt und in 2<sup>n</sup> Teilströme ( $n$  = Anzahl der Stufen der Bifurkationskaskade) aufgeteilt. Hierdurch weisen die so erhaltenen Teilströme, die dem Produktstrom zugeführt werden, identische Volumenströme auf.

[0024] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird eines der Edukte dem Stapel radial von außen zugeführt. Dabei werden die zu diesem Edukt gehörenden Nebenchäle als Aussparungen am Rand der Platte ausgebildet. Eine Ausnahme bilden dabei die Mischplatten, die die Teilströme dieses Edukts führen. Bei diesen Mischplatten und allen anderen Ausnehmungen handelt es sich sonst bevorzugt um Durchbrechungen.

[0025] Diese Ausführungsform eignet sich besonders gut für die Vermischung von zwei Edukten. In diesem Fall ist die Fluidabführung für den Produktstrom an einer Stirnseite des Stapels angeordnet, die Zuführung für das eine Edukt an der anderen Stirnseite angeordnet und die Zuführung für das zweite Edukt seitlich am Gehäuse angeordnet. Ein zwischen der Gehäuseinnenwand und der Stapelaußenwand befindlicher Hohlraum wird vollständig von diesem zweiten Edukt ausgefüllt und daher das zweite Edukt von allen Seiten dem Stapel zugeführt.

[0026] Für die Verwendung des erfindungsgemäßen Mikromischers für stark exotherme oder endotherme Reaktionen ist es vorteilhaft, wenn in ihm ein Wärmetauscher integriert ist. Dazu können entweder die Platten zusätzliche Ausnehmungen aufweisen, um Kühl- oder Heizrohre aufzunehmen. Man kann ein solches Kühl- oder Heizrohr auch zentral im Hauptkanal anordnen, so daß der Produktstrom um dieses Heiz- oder Kühlrohr herumgeführt wird. Die Platten können auch gegeneinander, beispielsweise durch Diffusionslötungen oder Diffusionsschweißen, abgedichtet werden, so daß auf Rohre verzichtet werden kann und die Kühl- oder Heizflüssigkeit direkt durch die zusätzlichen Ausnehmungen geführt werden kann.

[0027] Die vorliegende Erfindung soll anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert werden. Dabei zeigen

[0028] Fig. 1 Mischplatten für zwei Edukte,

[0029] Fig. 2 Mischplatten für vier Edukte,

[0030] Fig. 3a eine Explosionsdarstellung eines Mikromischers für zwei Edukte mit den Einzelkomponenten im Schnitt,

[0031] Fig. 3b-h die Einzelkomponenten des Mikromi-

schers aus Fig. 3a,

[0032] Fig. 4a ein erstes Beispiel für eine Kombiplatte, und

[0033] Fig. 4b ein zweites Beispiel für eine Kombiplatte.

[0034] In Fig. 1 ist ein Stapel 15 aus Mischplatten 20a, b für zwei Edukte A, B dargestellt. Diese Mischplatten 20a, b weisen für das Edukt A drei Ausnehmungen 24a und für das Edukt B drei Ausnehmungen 24b auf. Die Ausnehmungen 24a, b eines Eduktes sind jeweils auf den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks angeordnet. Die beiden Dreiecke sind durch gestrichelte Linien angedeutet. Beide Dreiecke sind gegeneinander um 60° verdreht. Daher liegen alle Ausnehmungen 24a, b auf einem Kreis (angedeutet durch eine gepunktete Linie), in dessen Mittelpunkt der Hauptkanal 23 angeordnet ist. Über den Hauptkanal 23 fließt das Mischprodukt ab.

[0035] Außer den Ausnehmungen 24a, b und dem Hauptkanal 23 weist jede Mischplatte 20a, b drei längliche Ausnehmungen 25 auf. Diese länglichen Ausnehmungen 25 erstrecken sich von den die Nebkanäle 24 eines Eduktes bildenden Ausnehmungen 24a oder 24b radial nach innen zum Hauptkanal 23, wobei die Bereiche der länglichen Ausnehmungen 25 im Zentrum der Mischplatten 20a, b den Hauptkanal bilden. Die Anordnung der Ausnehmungen 24a, b, 23 ist daher drehsymmetrisch um 120° zur Längsachse des Stapels 15, die längs des Hauptkanals 23 verläuft. Die Mischplatten 20a und 20b sind also baugleich. Sie sind allerdings alternierend um 180° gegeneinander verdreht übereinander angeordnet. Dadurch ergibt sich, daß jeweils die die Nebkanäle des einen und des anderen Eduktes formenden Ausnehmungen 24a und 24b deckungsgleich übereinander liegen und auch die den Hauptkanal 23 bildenden Bereiche der Ausnehmungen 25 übereinander liegen. Außerdem sind die länglichen Ausnehmungen 25 dadurch derart angeordnet, daß in den Mischplatten 20a das Edukt A aus den Nebkanälen 24a zum Hauptkanal 23 geführt wird, in den Mischplatten 20b hingegen wird das Edukt B von den Nebkanälen 24b zum Hauptkanal 23 geführt.

[0036] Dadurch werden in dem Hauptkanal 23 dünne Fluidlamellen, deren Dicke von der Mischplattendicke bestimmt wird, eines jeden Eduktes übereinandergeschichtet. Die Mischplattendicke wird so gering gewählt, vorzugsweise zwischen 5 und 70 µm, daß die beiden Edukte A und B sich mit einer Geschwindigkeit durch Diffusion mischen können, die höher als die Reaktionsgeschwindigkeit der gewünschten Reaktion zwischen den Edukten A und B liegt. Bei der Herstellung von Emulsionen oder Dispersionen hat dies den Vorteil kleinster Tröpfchengrößen bei homogener Größenverteilung.

[0037] In Fig. 2 ist ein weiterer Stapel 15 dargestellt, der aus Mischplatten 20a-d aufgebaut ist, die nun für vier Edukte A bis D ausgelegt sind. Dabei wurde analog zum in Fig. 1 dargestellten Beispiel vorgegangen. Für jedes Edukt A bis D gibt es drei Nebkanäle 24a-d. Diese Nebkanäle 24a-d sind wiederum auf einem Kreis angeordnet, in dessen Mittelpunkt sich der Hauptkanal 23 befindet. Die Anordnung der Ausnehmungen ist wieder drehsymmetrisch um 120° zur Achse längs des Hauptkanals 23. Die einzelnen Mischplatten 20a-20d sind auch wieder baugleich, aber jeweils um 90° gegeneinander verdreht übereinander angeordnet. Daher sind die länglichen Ausnehmungen 25, die die Nebkanäle 24a-d jeweils eines Eduktes A bis D mit dem Hauptkanal 23 verbinden, derart angeordnet, daß in den Platten 20a das Edukt A zum Hauptkanal 23 geführt wird, in den Mischplatten 20b das Edukt B zum Hauptkanal 23 geführt wird, usw.. Die Mischplatten 20a-d sind der Reihe nach alternierend übereinander angeordnet (a, b, c, d, a, b, c, d, a, b, c, d). Dadurch wird ein möglichst homogener Pro-

duktstrom erreicht. Durch die äquidistante Anordnung der Nebkanäle 24a-d zum Hauptkanal 23 ist der Druckabfall der Teilströme der Edukte in allen länglichen Ausnehmungen 25 gleich, was ebenfalls zu einer homogenen Vermischung beiträgt.

[0038] In Fig. 3a ist eine Explosionsdarstellung eines Mikromischers dargestellt, der für zwei Edukte A, B ausgelegt ist, wobei das Edukt B radial zum Stapel 15 zugeführt wird und das Edukt A an der linken Stirnseite des Stapels 15 zentral zugeführt wird.

[0039] Der Mikromischer besteht aus den folgenden Komponenten, die in den Fig. 3b-h auch einzeln dargestellt sind: einem Gehäuse 10 (Fig. 3g), zwei Dichtungsringen 33, von denen der eine zwischen der Verteilerplatte 21 und dem Gehäuse 10 angeordnet ist und der andere zwischen dem Gehäuse 10 und der Abdeckplatte 11 angeordnet ist, einer Verteilerplatte 21 (Fig. 3h), Mischplatten 20a, b (Fig. 3d, f), Zwischenplatten 22 (Fig. 3e) und der Abdeckplatte 11 (Fig. 3b). Zusätzlich sind drei Justierstäbe 31 dargestellt (die beiden unteren liegen zeichnerisch übereinander), die zum Zusammenbauen des Mischers benötigt werden.

[0040] Das Gehäuse 10 ist als ein nach einer Seite offener Quader ausgebildet. Er ist innen hohl, wobei das entfernte Volumen die Form eines Zylinders hat. Der Hohlraum ist derart im Gehäuse angeordnet, daß eine Stirnseite des entfernten Zylinders der offenen Seite des Quaders entspricht. An der gegenüberliegenden Seite befindet sich die Fluidzuführung 12a für das Edukt A. An einer der vier weiteren Seiten ist die Fluidzuführung 12b für das Edukt B angeordnet. Das Edukt B wird also radial zum zylindrischen Hohlraum zugeführt. Beide Fluidzuführungen 12a, b sind in etwa in der Mitte der jeweiligen Quaderseite angeordnet. Wie weiter unten gezeigt werden wird, haben alle Platten im wesentlichen eine kreisförmige Grundfläche. Der aus ihnen zusammengesetzte Stapel hat also zylindrische Form und kann in den Hohlraum des Gehäuses eingesetzt werden. Da das Edukt B radial zugeführt wird, muß zwischen dem Stapel 15 und der Innenwand des Gehäuses 10 ein ringförmiger Raum vorhanden sein, damit sich das Edukt B gleichmäßig um den ganzen Zylinder herum verteilen kann.

[0041] Das Gehäuse 10 weist außerdem Bohrungen 34 auf, die, ebenso wie die Fluidzuführung 12a, b, mit einem Gewinde versehen sind, so daß Eduktleitungen an das Gehäuse 10 geschraubt werden können. Diese Bohrungen 34 erstrecken sich durch das gesamte Gehäuse 10 und dienen dazu, die Abdeckplatte 11 an dem Gehäuse festzuschrauben. Die Bohrungen 34 sind in den vier Ecken des Gehäuses 10 parallel zur Zylinderachse bzw. der Stapelachse angeordnet.

[0042] In das Gehäuse 10 werden als erstes ein Abdichtungsring 33 und die Verteilerplatte 21 eingeführt. Die Verteilerplatte 21 weist eine kreisförmige Vertiefung 26 auf, auf deren Umfang sechs Ausnehmungen 24a angeordnet sind, die mit den entsprechenden Ausnehmungen in den übrigen Platten die Nebkanäle für das Edukt A bilden. Die Vertiefung 26 ist auf der der Fluidzuführung 12a zugewandten Seite angeordnet, so daß sich eine kleine Sammelkammer für das Edukt A bildet, aus dem das Edukt A in die Nebkanäle 24a einströmt.

[0043] Zum einfacheren Übereinanderstapeln der Platten werden nun in drei der Ausnehmungen 24a der Verteilerplatte 21 jeweils ein Justierstift 31 gesteckt. Die übrigen Platten 20a, b, 22 werden auf diese Justierstifte aufgesteckt. Als letztes werden der zweite Abdichtungsring 33 und die Abdeckplatte 11 auf die Justierstifte aufgesteckt und der gesamte Stapel zusammengedrückt, bis sich die Abdeckplatte 11 mit dem Gehäuse 10 zusammenschrauben läßt. Zu diesem Zweck sind in der Abdeckplatte 11 zum einen in den vier Ecken Bohrungen 34 vorgesehen, die die durch das Ge-

häuse 10 gesteckten Schrauben aufnehmen können, und zum anderen die Bohrungen 32, durch die die Justierstifte hindurchgeführt werden können. Außerdem weist die Abdeckplatte 11 in ihrer Mitte die Fluidabführung 13 für den Produktstrom auf. Die Bohrungen 32 sowie die Fluidabführung 13 sind mit Gewinde versehen. Nach Entfernen der Justierstifte werden die Bohrungen 32 mit Schrauben verschlossen. An die Fluidabführung 13 kann eine Produktleitung geschraubt werden.

[0044] Innerhalb des Stapels 15 finden sich neben der Verteilerplatte 21 drei weitere Plattentypen: die Zwischenplatten 22, die Mischplatten 20a und die Mischplatten 20b. Die Zwischenplatten 22 weisen für das Edukt A sowie für den Hauptkanal kleine kreisförmige Ausnehmungen 24a, 23 auf, wobei die sechs Ausnehmungen 24b auf einem Kreis angeordnet sind, in dessen Mittelpunkt die Ausnehmung 23 für den Hauptkanal liegt. Für die Nebenkanäle für das Edukt B weisen die Zwischenplatten 22 zwischen den Ausnehmungen 24a V-förmige Aussparungen 24b am Rande der Zwischenplatte 22 auf. Auch diese Aussparungen 24b liegen auf dem Kreis, auf dem auch die Ausnehmungen 24a für die Nebenkanäle für das Edukt A liegen.

[0045] V-förmige Aussparungen am Rande der Platte zur Bildung der Nebenkanäle für das Edukt B weisen auch die Mischplatten 20a auf. Außerdem weisen sie sechs längliche Ausnehmungen 25 auf, die das Edukt A zum Hauptkanal 23 führen. Die sechs länglichen Ausnehmungen 25 bilden zusammen eine sternförmige Ausnehmung. Die V-förmigen Aussparungen 24b sind zwischen den Sternspitzen angeordnet.

[0046] Eine ebensolche sternförmige Ausnehmung findet man auch bei den Mischplatten 20b, bei denen durch die sternförmige Ausnehmung das Edukt B zum Hauptkanal 23 geführt wird. Bei den Mischplatten 20b sind keine V-förmigen Aussparungen zwischen den Sternspitzen angeordnet, sondern kreisförmige Bohrungen 24a, die die Nebenkanäle für das Edukt A bilden.

[0047] Die den Hauptkanal 23 bildende Ausnehmung der Zwischenplatten 22 weist eine viel geringere Querschnittsfläche auf als die sternförmigen Ausnehmungen 23 der Mischplatten 20a, b. Dadurch wird gewährleistet, daß erst die Teilströme des jeweiligen Eduktes zusammenfließen und dann sich das Edukt von allen Seiten gleichmäßig auf die kleinere Ausnehmung in der Zwischenplatte zubewegt und dabei eine über den Umfang der Ausnehmung gleichmäßige Strömung entwickelt. Dadurch wird verhindert, daß die Edukte sich im Hauptkanal in axialen Streifen aneinanderlegen.

[0048] In Fig. 4a ist eine einstückige Kombiplatte 35a dargestellt, die die Struktur und Funktion sowohl einer Mischplatte 20b als auch einer Zwischenplatte 22 aufweist. Die Durchbrüche 24a, b für die Nebenkanäle sowie 23 für den Hauptkanal sind durchgehend, die Senkungen 36 für die länglichen Ausnehmungen 25 nicht durchgehend.

[0049] Gleiches gilt für die Kombiplatte 35b in Fig. 4b, die aus der gedanklichen Verschmelzung von Mischplatte 20a und Zwischenplatte 22 entsteht. Gegenüber der Kombiplatte 35a sind nun die Durchbrüche 24b zu V-förmigen Aussparungen 24c vergrößert, um das Edukt B radial von außen zuführen zu können.

#### Patentansprüche

1. Statischer Mikromischer für  $n$  ( $n \geq 2$ ) Edukte, der ein Gehäuse (10) mit mindestens  $n$  Fluidzuführungen (12a, b) und einer Fluidabführung (13) sowie  $n$  oder mehr im Gehäuse (10) zu einem Stapel (15) angeordnete Platten (20, 21, 22) aufweist, wobei die Platten

(20, 21, 22) Ausnehmungen (24, 25) im Millimeter- bis Submillimeterbereich aufweisen, die zusammen einen Hauptkanal (23) zum Abführen des Produktes und mindestens  $n$  Nebenkanäle (24) zum Zuführen jedes einzelnen Edukts bilden, die sich in Stapelrichtung durch den gesamten Stapel (15) erstrecken, und wobei in mindestens  $n$  der Platten (20a-d) zur Bildung von Mischplatten (20a-d) für je ein Edukt eine oder mehrere längliche Ausnehmungen (25) im Millimeter- bis Submillimeterbereich vorhanden sind, die sich jeweils von dem Hauptkanal (23) zu dem oder den Nebenkanälen (24) dieses Edukts erstrecken.

2. Mikromischer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Hauptkanal (23) zentral längs der Stapelachse angeordnet ist und die Nebenkanäle außen um den Hauptkanal (23) herum angeordnet sind.

3. Mikromischer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Anordnung der Ausnehmungen (24, 25) drehsymmetrisch zur Stapelachse ist.

4. Mikromischer nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß an mindestens einer Stirnseite des Stapels (15) mindestens eine als Verteilerplatte (21) ausgebildete Platte (21) im Stapel (15) angeordnet ist, die eine oder mehrere Ausnehmungen (24, 26) aufweist, die sich von der Fluidzuführung (12) eines Edukts zu dem oder den Nebenkanälen (24) dieses Edukts erstrecken, und gegebenenfalls weitere Ausnehmungen zur Bildung der Nebenkanäle (24) der übrigen Edukte und/oder des Hauptkanals (23) aufweist.

5. Mikromischer nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Verteilerplatte (21) bzw. Verteilerplatten (21) sowie die darin befindlichen Ausnehmungen (24, 25) so ausgestaltet sind, daß der zugehörige Druckabfall kleiner als der Druckabfall in den länglichen Ausnehmungen (25) der Mischplatten (20) ist.

6. Mikromischer nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch, gekennzeichnet, daß zwischen mindestens zwei Mischplatten (20) eine Zwischenplatte (22) angeordnet ist, die für jeden Nebenkanal (24) und den Hauptkanal (23) genau eine Ausnehmung (24) aufweist.

7. Mikromischer nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß in der Zwischenplatte (22) die Ausnehmung für den Hauptkanal (23) eine geringere Querschnittsfläche aufweist als die entsprechende Ausnehmung in der in Strömungsrichtung davor angeordneten Mischplatte (20).

8. Mikromischer nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Plattendicke der Zwischenplatte (22) bzw. Zwischenplatten (22) der Plattendicke der Mischplatten (20) entspricht.

9. Mikromischer nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß von außen die den oder die Nebenkanäle (24) eines Edukts bildenden Ausnehmungen (24b) als Aussparungen am Rand der Platten (20a, 22) ausgebildet sind, mit Ausnahme der Mischplatte (20b) bzw. Mischplatten, deren längliche Ausnehmung (25) bzw. Ausnehmungen sich zu dem oder den Nebenkanälen eben dieses Edukts erstrecken, und die Fluidzuführung (12b) für dieses Edukt im Gehäuse (10) radial zum Stapel (15) angeordnet ist.

10. Mikromischer nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenplatte (22) und die in Strömungsrichtung davor angeordnete Mischplatte (20a, 20b) zusammen als eine einstückige Kombiplatte (35a, 35b) ausgeführt sind, die zur Ausbildung des Hauptkanals (23) und der Nebenkanäle (24)

Durchbrechungen (24a, 24b) und zur Ausbildung der länglichen Ausnehmungen (25) Senkungen (36) aufweist.

11. Mikromischer nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß in ihm ein Wärmetauscher integriert ist. 5

12. Verfahren zum statischen Mischen zweier oder mehrerer Edukte, dadurch gekennzeichnet, daß aus jedem Edukt mindestens ein Hauptstrom gebildet wird, aus dem mindestens ein Teilstrom abgezweigt wird, 10 und die Teilstrome aller Edukte in einem Produktstrom vereinigt werden, wobei die einzelnen Eduktteilströme der Reihe nach abwechselnd in der Form dem Produktstrom zugeführt werden, daß Fluidlamellen in Strömungsrichtung übereinander geschichtet werden, wo- 15 bei diese ineinander diffundieren.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Querschnittsgeometrien des Hauptstroms, des Produktstroms und der Teilstrome derart bemessen sind, daß der Druckabfall des Hauptstroms 20 ungefähr gleich dem des Produktstroms und klein gegenüber dem Druckabfall der Teilstrome ist.

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -



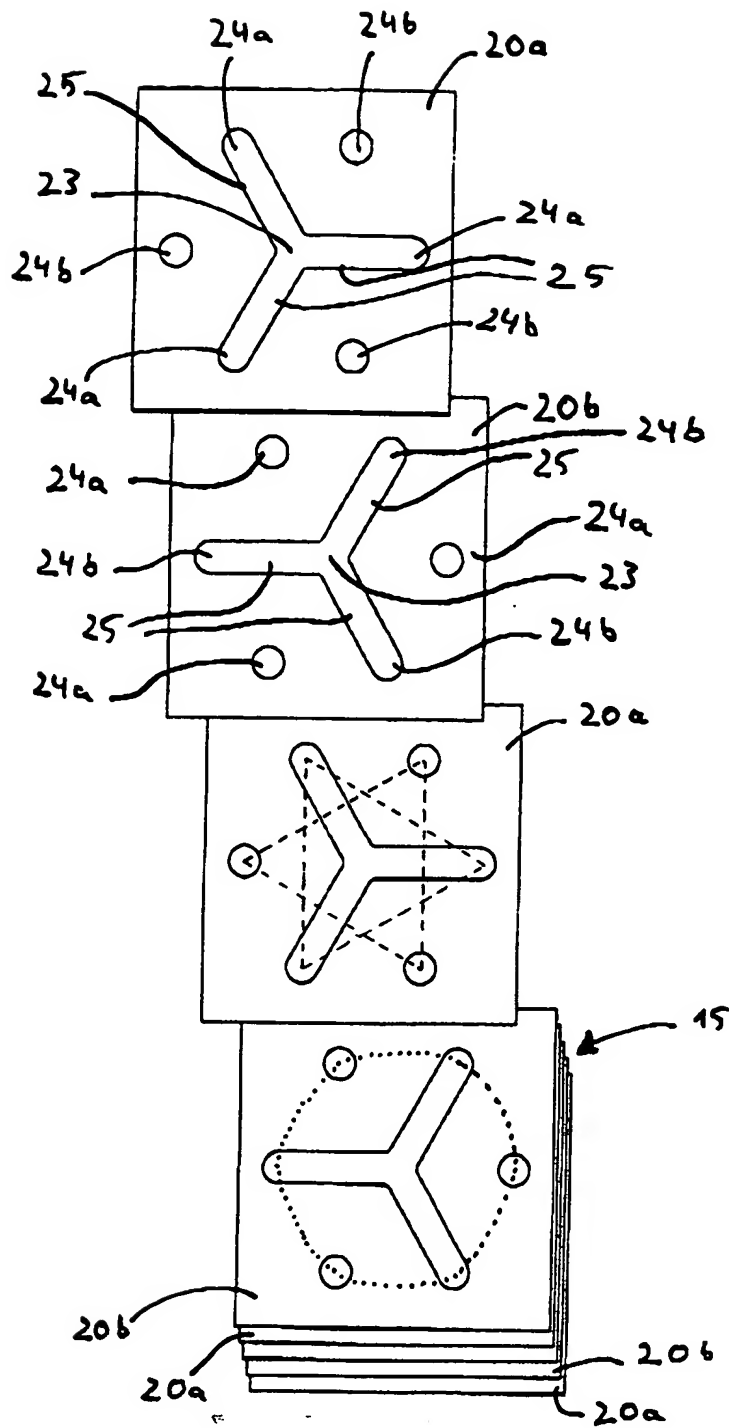


Fig. 1

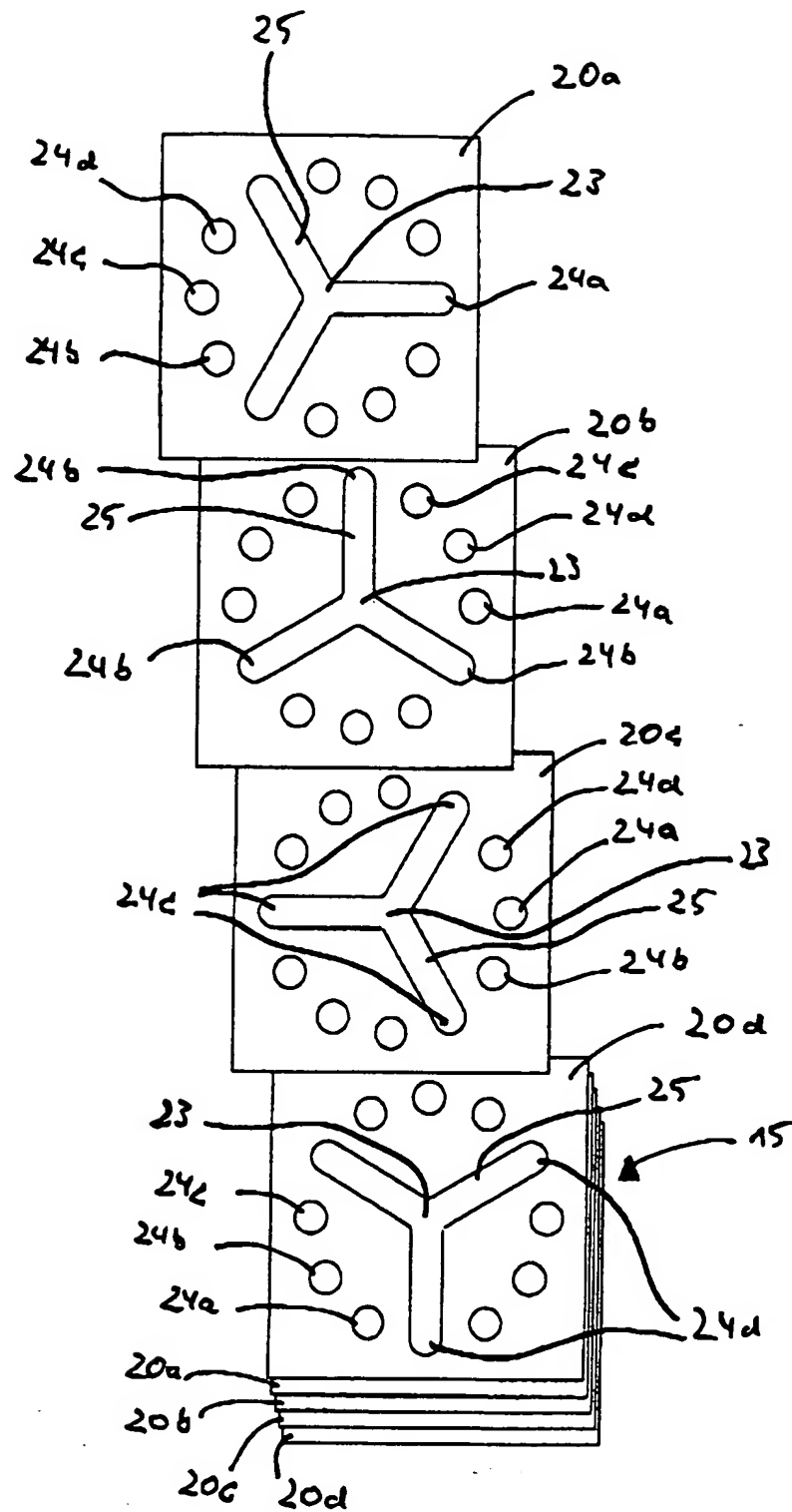
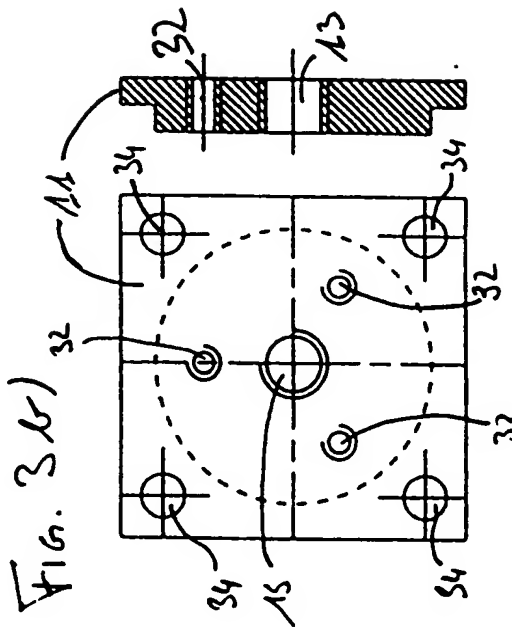
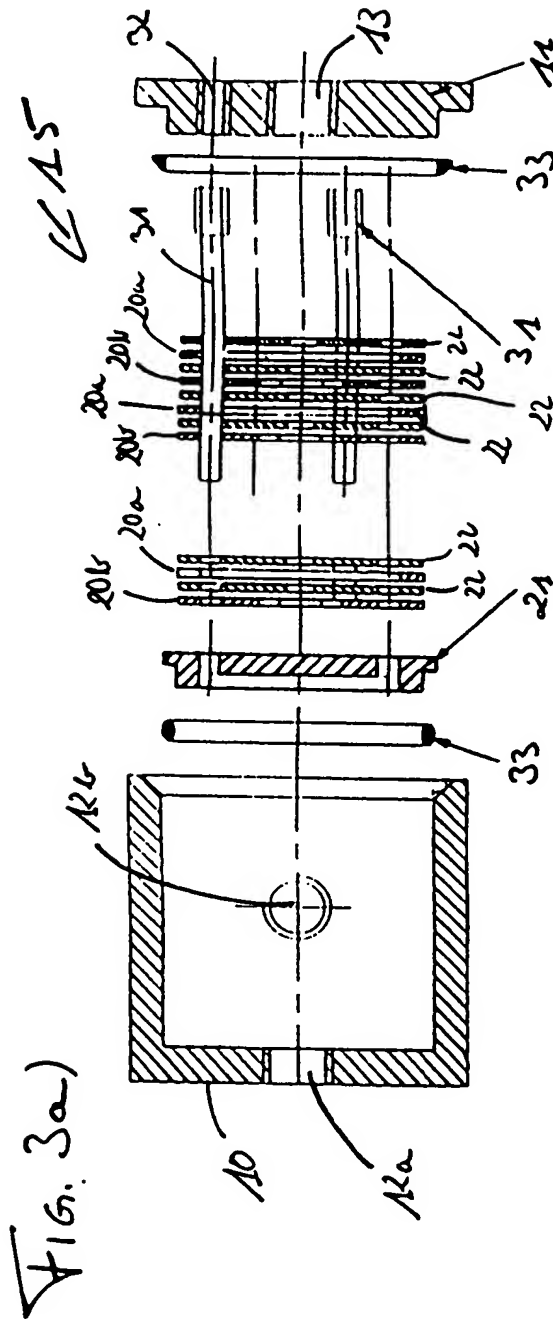


Fig. 2



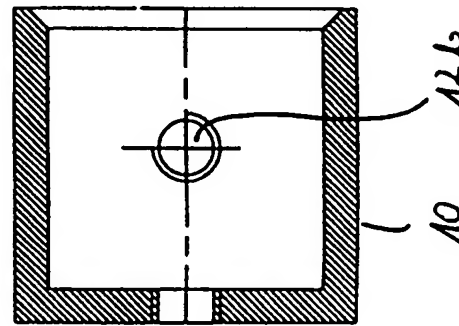
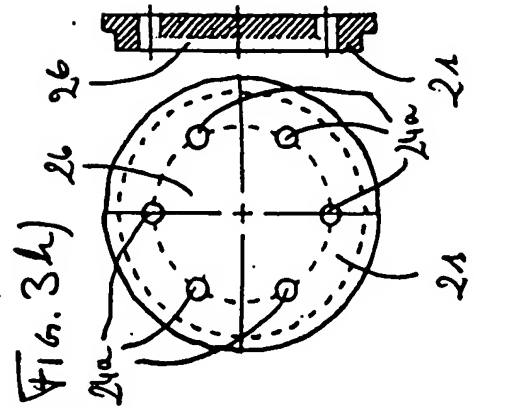
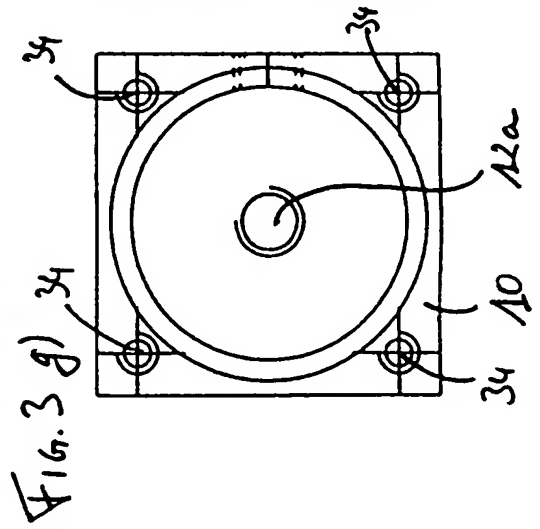
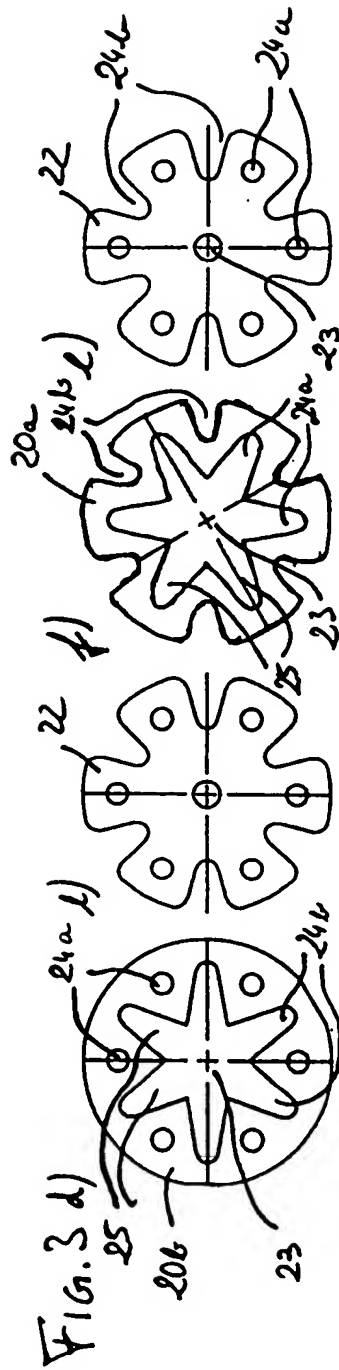


Fig 4a)

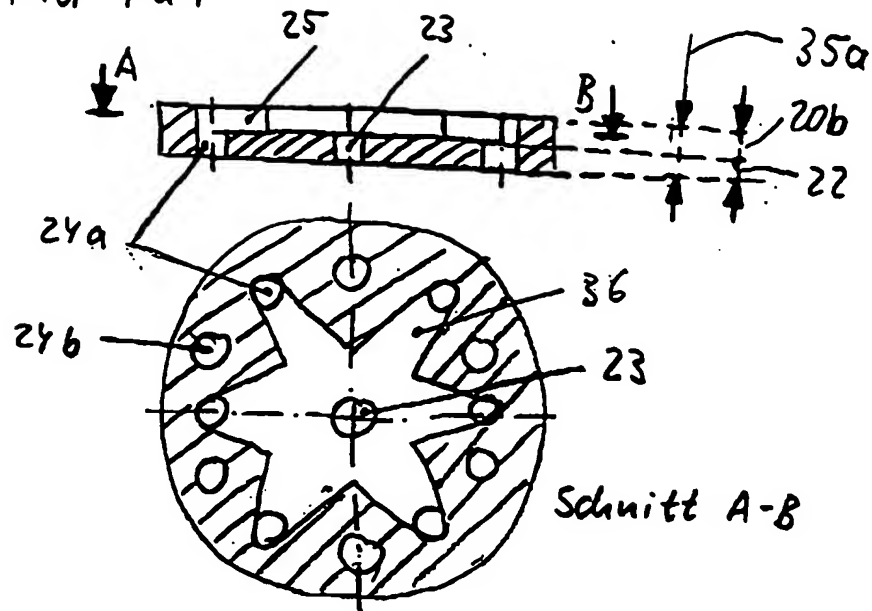
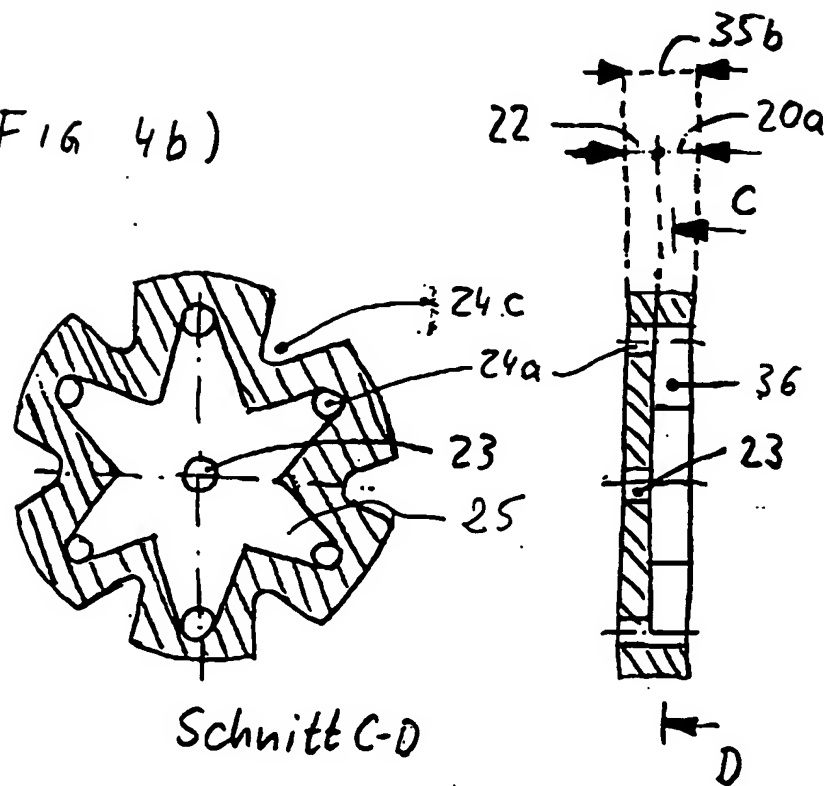


Fig 4b)



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**